

# RANCANG BANGUN THERMAL ANEMOMETER DENGAN KONTROL PROPOSIONAL INTEGRAL

Muhamad Yusuf

Program Studi Teknik Elektronika, Politeknik Negeri Cilacap, Jawa Tengah  
yusuf@politeknikcilacap.ac.id

## ABSTRACT

*Maintaining the stability of the air at the speed of pressurized pipe used for gas distribution lines are very unlikely to do the kind of windmill anemometer, cup anemometer and other types. One type of measuring instruments in accordance with these conditions is Thermal Anemometer. Thermal anemometer is a wind speed measuring devices that use temperature change, then converted to a change in wind speed with the help of the heater. This measure is widely used to measure the flow rate / pressure pa wind in the PI. Price of this measure is relatively very expensive. In this study, the configuration between the temperature sensor LM 35 with heater elements in the form of solder 40W to measure wind speed. Temperature sensor has a relatively slow response time mainly fall time. To overcome this would be to use Proportional Integral Controller so that the resulting response time is faster. LM35 sensor configuration with proportional and integral controller is capable of measuring a maximum wind speed of 6.9 m / s.*

**Keywords :** *Thermal anemometer, LM35 sensor, controller Proportional Integral*

## INTISARI

Menjaga kestabilan kecepatan udara pada pipa bertekanan yang digunakan untuk jalur distribusi gas sangat tidak mungkin dilakukan dengan anemometer jenis windmill, cup anemometer dan jenis yang lain. Salah satu jenis alat ukur yang sesuai dengan kondisi tersebut adalah Thermal Anemometer. Thermal anemometer merupakan salah satu alat ukur kecepatan angin yang menggunakan perubahan temperatur, kemudian dikonversi menjadi perubahan kecepatan angin dengan bantuan heater. Alat ukur ini banyak digunakan untuk mengukur kecepatan aliran/angin dalam PI pa bertekanan. Harga dari alat ukur ini relatif sangat mahal. Dalam penelitian ini dibuat konfigurasi antara sensor temperatur LM 35 dengan heater berupa elemen solder 40W untuk mengukur kecepatan angin. Sensor temperatur mempunyai *time respon* yang relatif lambat terutama *fall time*. Untuk mengatasi hal tersebut akan digunakan Kontroler Proporsional Integral agar *time respon* yang dihasilkan lebih cepat. Konfigurasi sensor LM35 dengan kontroler proposional dan integral ini mampu mengukur kecepatan angin maksimal 6,9 m/s.

**Kata kunci :** *Thermal anemometer, Sensor LM35, Kontroler Proporsional Integral*

## I. PENDAHULUAN

Kata anemometer berasal dari Yunani *anemos*, yang berarti angin. Anemometer ini pertama kali diperkenalkan oleh *Leon Battista Alberti* dari Italia pada tahun 1450. Anemometer adalah sebuah perangkat yang digunakan untuk mengukur kecepatan angin, merupakan salah satu instrumen yang sering digunakan oleh balai cuaca seperti Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG). Secara umum ada dua jenis anemometer, yaitu anemometer yang mengukur kecepatan angin (*velocity anemometer*) dan anemometer yang mengukur tekanan angin (anemometer tekanan). Dari kedua tipe anemometer ini *velocity anemometer* lebih

banyak digunakan. Salah satu jenis dari *velocity anemometer* adalah *thermal anemometer* lebih dikenal dengan *hot wire anemometer* yaitu anemometer yang mengkonversi perubahan suhu menjadi kecepatan angin. *Hot wire anemometer* menggunakan kawat yang sangat kecil dialiri panas hingga suhu di atas temperatur *Ambient*. Bila ada udara/angin yang mengalir melewati kawat maka akan terjadi efek pendinginan pada kawat, perubahan temperatur dari kawat sebagai indikasi perubahan dari kecepatan angin yang diukur.

Anemometer tipe thermal ini pernah dibuat menggunakan dioda seri dipanaskan oleh *heater*, sehingga terjadi perubahan karakteristik tegangan dan arus. Aliran angin mengakibatkan proses pendinginan, sehingga tegangan dioda

kembali naik maka diperoleh hubungan kecepatan angin dan tegangan dioda. Anemometer yang pernah dibuat ini memiliki beberapa kekurangan yaitu setelah beberapa kali pemakaian, dioda harus diganti karena mudah rusak, dioda yang dipakai adalah *diode rectifier*, bukan dioda untuk pengukur suhu. Batas ukur maksimal adalah 6 m/s. Anemometer yang dibuat juga tidak memperhatikan pengaruh suhu angin termasuk tipe Constant Temperature Anemometry/CTA (Yoshihito Shimada, 2003 dan Arif Harianto, 2005)

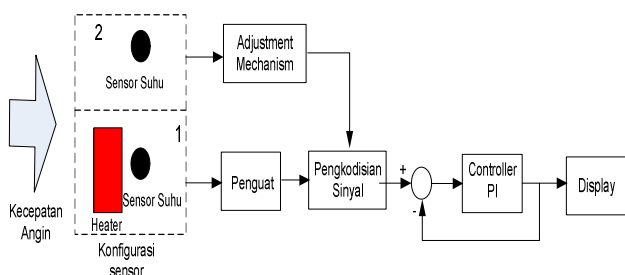
Dari berbagai kekurangan diatas maka pada penelitian ini akan dibuat thermal anemometer menggunakan dua buah sensor suhu LM35. Konfigurasi baru yang dibuat menggunakan dua sensor suhu LM35 dan heater untuk mendapatkan sensor *velocity* yang handal dan memenuhi/meningkatkan batas ukur sensor, linearity dan *time respon* sistem dengan menerapkan kontroler Proporsional Integral. Makalah ini terdiri atas beberapa bagian pada bagian pertama atau pendahuluan akan dibahas permasalahan yang ingin diatasi, kemudian bagian kedua metode yang digunakan untuk mengatasi masalah tersebut, sedangkan bagian ketiga adalah hasil yang telah diperoleh dan bagian keempat adalah kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan.

## II. PERANCANGAN SISTEM

Pada bagian perancangan sistem ini terdapat dua bagian yaitu perancangan *hardware* dan perancangan *software*.

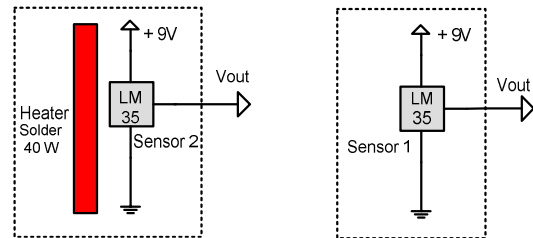
### A. Perancangan Hardware

Sebelum membuat sistem ini, dilakukan perancangan sistem terlebih dahulu. sistem secara keseluruhan berdasarkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Blok Sistem

Input dari sistem ini berupa kecepatan angin. Kecepatan angin kemudian dikonversi menjadi perubahan suhu pada sensor suhu LM35. Kontroler Proporsional Integral digunakan untuk mempercepat *time respon* pada saat proses pengukuran. Konfigurasi dari sensor untuk pengukuran kecepatan angin seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Konfigurasi Sensor Suhu

Sensor suhu yang digunakan adalah berbentuk ic dengan tipe LM35. Keluaran dari sensor suhu ini sudah dalam bentuk tegangan dan mempunyai linieritas yang baik. Heater yang digunakan adalah solder 40 Watt karena menghasilkan suhu yang relatif stabil. Sensor suhu yang pertama didekatkan dengan solder dengan jarak  $\pm 0,5$  cm. Diharapkan suhu yang dibaca oleh sensor suhu yang pertama stabil jika tidak ada angin yang berhembus. Sedangkan sensor suhu yang kedua diletakkan agak jauh dari sensor suhu yang pertama agar panas yang dihasilkan dari solder tidak mempengaruhi/terbaca oleh sensor suhu yang kedua.

Hardware pendukung lainnya adalah penguat dan kompensator karena keluaran dari sensor temperatur ini sangat kecil, maka perlu dilakukan penguatan sinyal. Komponen utama dari rangkaian ini adalah Op-Amp yang difungsikan sebagai penguat differensial. Kedua input dari Op-Amp digunakan secara bersamaan. Gambar rangkaian tersebut seperti Gambar 3. Rangkaian ini menguatkan perbedaan tegangan antara  $V_1$  dan  $V_2$  tegangan input dari Op-Amp ini adalah  $V_{in} = V_2 - V_1$ . Pada VR2 digunakan untuk menyeimbangkan penguatan antara *input inverting* dan *input non-inverting*, jika kedua tegangan input sama maka  $V_{out}$  harus menunjukkan "0 V". Apabila ini tidak terjadi maka VR2 harus diatur supaya  $V_{out}$  sama dengan "0V". Agar dapat berfungsi sebagai differensial amplifier maka nilai  $R_9 = R_{11}$ .

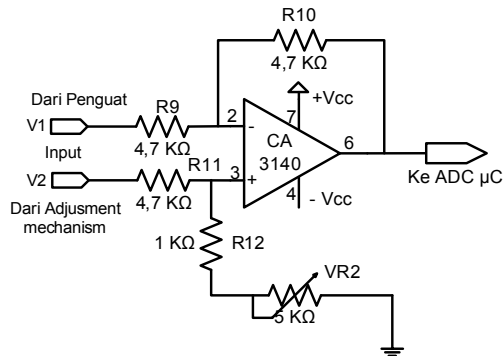
$$R_{10} = R_{12} + VR_1 \quad (1)$$

- [1]. Tegangan keluran rangkaian saat tidak ada angin yang berhembus pada temperatur lingkungan adalah  $27^0\text{C}$

$$V_{out} = -\frac{R_{10}}{R_9} * (V_1 - V_2) \quad (2)$$

$$V_{out} = -\frac{4,7k\Omega}{4,7k\Omega} * (4,23V - 4,23V)$$

$$V_{out} = 0V$$



Gambar 3. Rangkaian Pengkondisian Sinyal

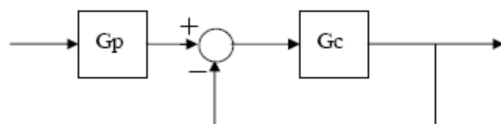
- [2]. Tegangan keluran dari rangkaian saat ada angin yang berhembus dan menyebabkan tegangan  $V_1$  menjadi turun, sehingga temperatur sensor suhu menunjukkan  $27^0\text{C}$  dan menghasilkan tegangan sebesar  $1,27V$  temperatur lingkungan adalah  $27^0\text{C}$

$$V_{out} = \frac{4,7k\Omega}{4,7k\Omega} * (4,23V - 1,27V) \quad (3)$$

$$V_{out} = 2,96V$$

### B. Perancangan Software Kontroler PI

Kontroler yang digunakan dalam sistem ini adalah kontroler proposional integral untuk mempercepat *time respon* sistem, sehingga block diagram dari controller berada didepan plant. Secara umum block diagram sistem kontrol ini dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Blok Diagram Kontrol Sistem

Dimana :

$G_p = \text{Plant}$

$G_c = \text{kontroler}$

Pada perancangan perangkat lunak metode yang digunakan adalah memodelkan sistem

menggunakan fungsi alih. Fungsi alih digunakan untuk menentukan hubungan masukan dan keluaran dari sistem yang dapat digambarkan dengan persamaan linear terhadap waktu. Fungsi Alih persamaan linear, *time invariant* suatu sistem didefinisikan sebagai perbandingan antara transformasi Laplace keluaran (fungsi tanggapan) terhadap transformasi Laplace masukan (fungsi penentu) dan anggapan semua syarat awal adalah nol.

$$G(s) = \frac{\ell(\text{Keluaran})}{\ell(\text{masukan})} \Big|_{\text{keadaan...awal...nol}}$$

$$= \frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{b_0 s^m + b_1 s^{m-1} + \dots + b_{m-1} s + b_m}{a_0 s^n + a_1 s^{n-1} + \dots + a_{n-1} s + a_n}$$

Fungsi alih dapat dinyatakan sistem dinamik dengan persamaan aljabar. jika pangkat tertinggi dari  $s$  dalam penyebut fungsi alih sama dengan  $n$ , maka disebut sistem *orde ke-n*. Grafik *output* fungsi waktu pada sistem ini ditunjukkan pada Gambar 5. Dari grafik tersebut dapat diketahui bahwa sistem tersebut adalah orde satu. Fungsi alih dari sistem orde satu adalah sebagai berikut.

$$G_p = \frac{K}{\tau s + 1} \quad (4)$$

Parameter  $K$  adalah perbandingan antara *input* dan *output* pada sebuah *plant*. Input dari plant adalah kecepatan angin yang dihasilkan oleh kipas. Berdasarkan pengujian bahwa kecepatan maksimum dari sumber angin setara dengan tegangan  $2,67\text{V}$  yang terbaca pada ADC, ini merupakan  $v_{in}$  pada yang diberikan plant.  $V_{out}$  adalah tegangan yang diberikan pada saat pengujian *time respon* dari plant seperti pada Gambar 5.

$$K = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{2,65V}{2,67V}$$

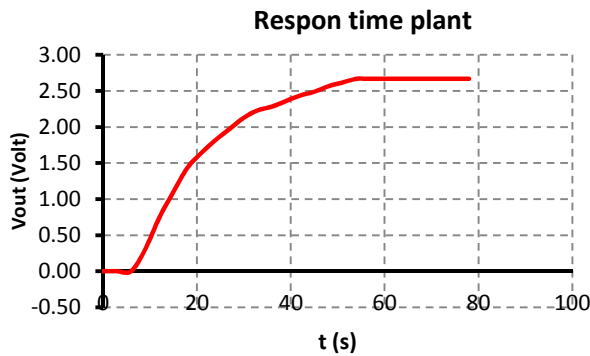
$$K = 0,99 \approx 1 \quad (5)$$

Oleh karena itu  $K$  bisa dibulatkan menjadi angka satu. Langkah berikutnya adalah menentukan nilai dari  $\tau$ . Nilai ini dapat diketahui dari grafik *time respon* dari *plant* pada Gambar 5. Kondisi tersebut diambil pada saat

kecepatan angin maksimum atau setara dengan 6,90 m/s.

$\tau = 63,28\%$  dari kondisi *steady state*

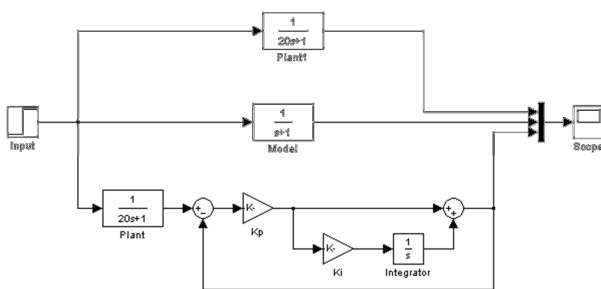
$$G_p = \frac{1}{20s + 1}$$



Gambar 5. Time Respon Sistem

Berdasarkan diagram blok parameter untuk  $G_c$  belum diketahui. Kontroler dapat didesain sesuai dengan plant atau fungsi alih yang telah ditentukan. Agar *time respon* dari sistem lebih cepat dengan cara menambahkan *PI controller*. Fungsi alih di atas bila disimulasikan dengan Matlab hasilnya seperti Gambar 5 dengan *input unit step*.

Model dari *Plant* adalah  $G_p = \frac{1}{20s + 1}$



Gambar 6. Model Diagram Kontroler PI pada Matlab

Untuk menentukan parameter kontroler PI dengan menggunakan metode *direct sintesis*, dimana *time respon* yang ingin dihasilkan ditentukan terlebih dahulu, kemudian dicari nilai konstanta proposional dan integral dengan menggunakan persamaan fungsi alih sistem orde satu. Melalui metode ini didapat nilai  $K_p = 20/19$  dan  $K_i = 1/20$ .

$$\begin{aligned} \frac{G_p G_c}{1 + G_c} &= \frac{\frac{1}{20s+1} \left\{ K_p \left( 1 + \frac{K_i}{s} \right) \right\}}{1 + K_p \left( 1 + \frac{K_i}{s} \right)} = \frac{\frac{1}{20s+1} \left\{ K_p \left( \frac{s+K_i}{s} \right) \right\}}{1 + K_p \left( \frac{s+K_i}{s} \right)} \\ &= \frac{\frac{1}{20s+1} \left\{ K_p K_i \left( \frac{s/K_i + 1}{s} \right) \right\}}{1 + K_p K_i \left( \frac{s/K_i + 1}{s} \right)} \end{aligned}$$

jika  $K_i = 1/20$ , maka :

$$\frac{K_p/20s}{1 + \frac{K_p}{20} \left( \frac{20s+1}{s} \right)} = \frac{1}{\frac{20s}{K_p} + 20s + 1} = \frac{1}{s \left( \frac{20}{K_p + 20} \right) + 1}$$

Model yang diinginkan :  $G_m = \frac{1}{s+1}$

Maka :  $\frac{20}{K_p} + 20 = 1$

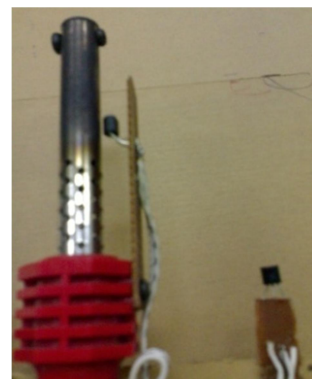
$$K_p = -\frac{20}{19}$$

### III. HASIL DAN ANALISA

Pada penelitian ini terdapat dua hasil pengujian yaitu pengujian perangkat keras dan pengujian perangkat lunak.

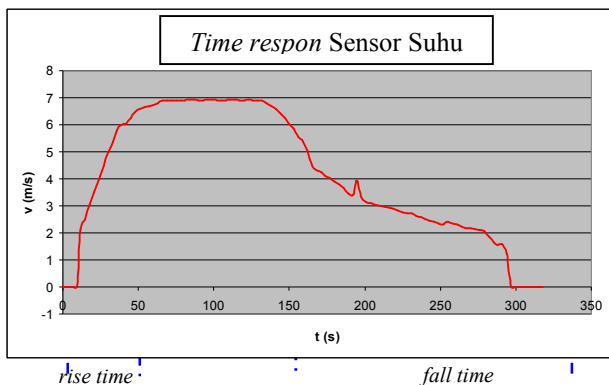
#### A. Pengujian Perangkat Keras

Untuk yang pertama pengujian perangkat keras meliputi pengujian konfigurasi sensor temperatur LM35 dengan elemen pemanas. Pengujian ini dilakukan untuk menentukan besarnya *rise time* dan *fall time* pada sensor temperatur LM 35 dengan *heater*. Konfigurasi sensor temperatur dengan elemen pemanas dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Konfigurasi Sensor Suhu

Sensor ini mempunyai karakteristik *output* naik 10 mV setiap kenaikan suhu 1°C. Namun terdapat sedikit *error* yang disebabkan oleh ketidaktepatan pembacaan *output* sensor tersebut dengan pembacaan termometer pembanding. Sensor ini mempunyai *rise time* sebesar  $\pm 50$  detik dan *fall time* sebesar  $\pm 150$  detik.

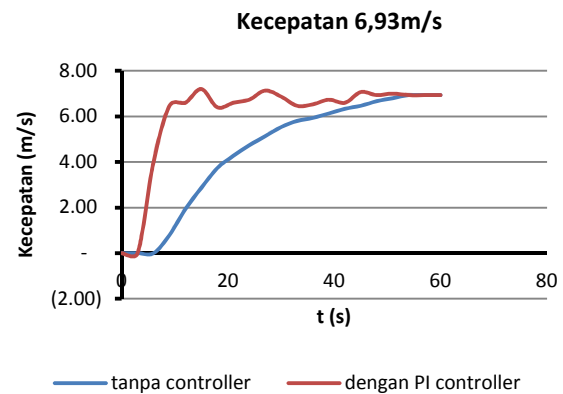


Gambar 8. Respon Sensor Suhu

Besarnya nilai *fall time* terjadi pada saat pemanasan/suhu *heater* naik. Kondisi ini jika pada velocity sensor terjadi saat penurunan besarnya kecepatan angin. Dengan kondisi *fall time* yang lama menyebabkan transisi untuk pengukuran kecepatan angin yang berbeda membutuhkan waktu agak lama.

#### B. Pengujian Perangkat Lunak

Pengujian perangkat lunak ini digunakan untuk menentukan respon kontroler PI untuk memperbaiki *time respon*. Dari grafik terlihat jelas perbedaan respon sistem yang menggunakan kontroler yaitu Kontroler PI dan sistem yang tanpa kontroler atau *open loop*. *Time respon* kontroler PI lebih cepat dibandingkan dengan tanpa menggunakan kontroler. Ini terlihat pada saat waktu *sampling* (t) di atas 10 detik kontroler PI sudah dapat menunjukkan hasil pengukuran walaupun hasilnya kurang presisi, tetapi sudah mendekati hasil yang terukur nantinya. Pada kontrol *open loop* hasil pengukuran baru dapat diketahui pada saat waktu *sampling* (t) di atas nilai 40 detik.



Gambar 9. Respon PI Controller

Ini jelas lebih lama dari keluaran *PI Controller*. Pada hasil kontroler PI sedikit beresilasi saat akan mencapai nilai yang terukur. Ini terjadi karena input dari kontroler PI juga berubah-ubah. Kontroler PI pada sistem ini tidak terdapat *set point* karena sistem ini adalah sistem pengukuran ini juga yang menyebabkan *output* dari kontroler PI beresilasi. Kontroler PI pada sistem ini difungsikan untuk mempercepat *time respon* dari hasil pengukuran.

#### IV. KESIMPULAN

Dari seluruh tahapan yang sudah dilaksanakan pada penelitian ini, mulai dari study literatur, perancangan dan pembuatan sampai pada pengujiannya maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Sensor LM35 dapat berfungsi sebagai velocity sensor untuk mengukur kecepatan angin dengan linearitas yang baik dan dapat meningkatkan batas ukur sampai 6,90 m/s, tetapi memiliki *rise time* (50 detik) dan *fall time* (140 detik) yang lambat.
2. *Time respon* hasil pengukuran dapat ditingkatkan dengan menggunakan kontroler PI hasilnya mendekati hasil pengukuran yang sebenarnya.

#### REFERENSI

- [1]. Astrom K. J., 1993. "Teory An Applications of Adaptive Control".
- [2]. Bejo A., 2008. "Bahasa C & AVR : Rahasia Kemudahan Bahasa C dalam

- Mikrokontroller ATmega 8535*". Graha Ilmu, Yogyakarta.
- [3]. Harianto A., 2005. "*Aplikasi Diode Sebagai Sensor pada Alat Ukur Kecepatan Angin Type Thermal*", Tugas akhir Jurusan Elektronika, PENS-ITS.
- [4]. Anas Y.P.A., 2009. "*Pengendalian Kecepatan Motor Dc Menggunakan Kontrol PI pada Peralatan Pembersih Kacang Hijau*". Tugas akhir Jurusan Elektronika Industri, PENS-ITS.
- [5]. Ogata Katsuhiko, 1994. "*Teknik Kontrol Automatik*", Erlangga, Jakarta.
- [6]. Paul Malvino A., 2004. "*Prinsip-Prinsip Elektronika*", Erlangga, Bandung.
- [7]. Shimada Y., 2003. "*Design Of Air Flowmeter Using Thermal Diode*", Transistor Technique Magazine, May 2003.